

Comité de Estudio B2 - Líneas Aéreas

ESTADÍSTICA DE ENSAYOS DE RECEPCIÓN DE AISLADORES ELEMENTO DE CADENA

P. MORCELLE DEL VALLE
IITREE-FI-UNLP
Argentina

L. J. CATALANO*
IITREE-FI-UNLP
Argentina

R. E. ÁLVAREZ
IITREE-FI-UNLP
Argentina

***Resumen** – Se presenta un análisis estadístico del desempeño de aisladores de porcelana de cadena, correspondientes a diferentes lotes, realizados de acuerdo a la norma IEC 60383-1. El análisis tiene en cuenta los ensayos en aisladores de porcelana realizados durante casi 40 años en el Laboratorio de Alta Tensión del Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Plata (IITREE). Se distinguen los ensayos con mayor frecuencia de falla y se analizan, en la medida de lo posible, las causas de las fallas.*

***Palabras clave:** Aisladores, elemento de cadena, ensayos, recepción, estadística.*

1 INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los equipos eléctricos, previamente a su puesta en servicio, se realizan pruebas de recepción con el fin de verificar la calidad de los elementos en el proceso de compra-venta. En el caso de los aisladores de porcelana que se utilizan para conformar las cadenas, las pruebas de recepción de un lote se realizan sobre una muestra o cantidad representativa del total de aisladores involucrados en dicho proceso de compra-venta. La norma de aisladores de la Comisión Electrotécnica Internacional, IEC 60383-1 [1], estipula la realización de ocho ensayos sobre la muestra del lote de aisladores; teniendo en cuenta que cada muestra se subdivide en dos muestras E1 y E2, de acuerdo al tamaño del lote, y que cada muestra E1 y E2 será sometida a una serie diferente de ensayos. Dichos ensayos tienen como objetivo comprobar el estado constitutivo desde el punto de vista de la fabricación (materiales, dimensiones, etc.) y el comportamiento mecánico, térmico y eléctrico del lote en cuestión.

La Tabla 1 de [1] indica que la serie de ensayos sobre muestras debe realizarse en una secuencia determinada. El punto 8.3 de [1] establece que, a menos que esté especificado en el criterio de aceptación, se debe aplicar un contra ensayo de acuerdo a las siguientes pautas: si solamente un aislador o una parte metálica no satisface un ensayo sobre muestras, se debe efectuar un contra ensayo con un tamaño de muestra dos veces superior al original. El contra ensayo comprende el ensayo no satisfactorio precedido por aquellos ensayos que pueden influir en los resultados de este ensayo.

En el IITREE se realizan ensayos sobre este tipo de aisladores desde el año 1974. Inicialmente, las pruebas se efectuaban de acuerdo a normas locales disponibles (IRAM 2077 e IRAM 2095), cuyas primeras versiones son del año 1956 y las cuales presentaban como antecedentes normas internacionales tales como VDE (Alemania), ASA y NEMA (USA), BSI (Gran Bretaña), UNI CEI (Italia), USE (Francia). Posteriormente, con el afianzamiento de la norma IEC 383 del año 1972, los procedimientos de esta última fueron definitivamente adoptados para estos ensayos.

* lcatalano@iitree-unlp.edu.ar

En este trabajo se presentan los resultados una serie de ensayos realizados, en los que se hallan involucrados 948 aisladores de cadena correspondientes a 73 lotes, de diferentes fabricantes, de caperuza y badajo, de los cuales el tipo más popular es el U70BL (Fotos 1 y 2).

La mayoría de los ensayos corresponden a los tradicionalmente realizados en el IITREE, que son los siguientes:

- a) Verificación dimensional (cláusula 17 de [1])
- b) Electromecánico de falla (cláusula 18 de [1])
- c) Ciclado térmico (cláusula 23 de [1])
- d) Porosidad (cláusula 25 de [1])
- e) Verificación de la calidad del galvanizado (cláusula 26 de [1])



Foto 1. Aisladores U70BL color marrón



Foto 2. Aisladores U70BL color gris

Hace unos pocos años fue incorporada una nueva serie de ensayos de muestreo:

- f) Frente escarpado (cláusula 15.2 de [1])
- g) Verificación del desplazamiento axial y radial (cláusula 21 de [1])
- h) Verificación del sistema de enclavamiento (cláusula 22 de [1])

Debido a que las pruebas f), g) y h) son de incorporación relativamente reciente, éstas no fueron tenidas en cuenta en el presente estudio, dado que el número de elementos ensayados se estimó insuficiente para ser considerados en la estadística.

2 OBJETIVOS

Uno de los objetivos del trabajo consistió en detectar aquellos ensayos que presentaran mayor índice de falla, de tal forma de brindar herramientas a los fabricantes para intensificar los controles en la manufactura de las partes del aislador relacionadas con dichas pruebas.

Por otro lado, se estima que los resultados de este estudio puedan ayudar a los compradores a prestar más atención a ciertos ensayos que resultan críticos en el servicio de los aisladores.

3 ENSAYOS Y SUS RESULTADOS ESTADÍSTICOS

En los puntos que siguen se detallan para cada tipo de ensayo los porcentajes de falla resultantes, elaborándose finalmente una serie de conclusiones que, a juicio de los autores, son representativas de los resultados obtenidos.

3.1 Verificación dimensional

3.1.1 Breve descripción

El procedimiento para la realización de este ensayo se encuentra en el punto 17 de la norma [1].

Se ensayan todos los aisladores de la muestra (E1 y E2). Se deben verificar que las dimensiones de los aisladores seleccionados coinciden con las indicadas en los planos a que se refiere, prestando especial atención a las medidas sujetas a tolerancias especiales indicadas por la norma.

Además, para el caso de las rótulas y los alojamientos definidos por [2] debe controlarse la intercambiabilidad del aislador mediante la verificación por calibres de acoplamiento. Las Fotos 3; 4 y 5 muestran los calibres utilizados y los controles mediante algunos de los calibres mencionados.



Foto 3. Calibres de la norma IEC 60120



Foto 4. Verificación de la rótula



Foto 5. Verificación del alojamiento y caperuza

3.1.2 Resultados

Se sometieron a este ensayo 42 muestras, compuestas por un total de 614 aisladores. Del total ensayado, 14 muestras, compuestas por 198 aisladores, no aprobaron la prueba. Si bien debe entenderse que no necesariamente todos los aisladores de cada muestra presentaron falla, las causas de la no aprobación del ensayo pueden involucrar sólo una o varias de las dimensiones verificadas en uno o varios aisladores de la muestra.

3.2 Electromecánico de falla

3.2.1 Breve descripción

El procedimiento para la realización de este ensayo se encuentra en el punto 18 de [1]. Se ensayan los aisladores de la muestra E1. Los mismos deben ser sometidos individual y simultáneamente a un esfuerzo de tracción y a una tensión de frecuencia industrial entre sus partes metálicas. La tensión eléctrica debe estar aplicada durante todo el ensayo.

Debe tenerse especial cuidado de que las piezas de fijación de la máquina de ensayo estén de acuerdo con [2] para los aisladores de caperuza y badajo. Las Fotos 6 y 7 muestran las piezas de fijación y un aislador montado en la máquina de ensayo.



Foto 6. Alojamiento y vástago para acople a rótula



Foto 7. Aislador montado en la máquina de ensayo

3.2.2 Resultados

Se sometieron a este ensayo 62 muestras, compuestas por un total de 561 aisladores. Del total ensayado, 11 muestras, compuestas por 139 aisladores, no aprobaron la prueba. Debe tenerse en cuenta que el rechazo o aceptación del lote se decide a partir de un estudio estadístico que se realiza sobre el conjunto de resultados individuales de la muestra y no respecto de la carga de falla individual. En muchos de los lotes rechazados se ha observado que la dispersión de los valores de falla fue el motivo por el cual los resultados del estudio estadístico fueron no satisfactorios.

3.3 Ciclado térmico

3.3.1 Breve descripción

El procedimiento para la realización de este ensayo se encuentra en el punto 23 de [1].

Se ensayan todos los aisladores de la muestra (E1+E2). Se deben preparar dos baños de agua, uno frío (a temperatura ambiente) y otro caliente a una temperatura 70 K superior a la del baño frío. Los mismos deben ser sumergidos rápida y completamente en el baño caliente y mantenidos durante 15 minutos. Pasado este tiempo, se deben retirar y sumergir inmediata y rápidamente en el baño frío. El tiempo de inmersión en el baño frío es el mismo que para el baño caliente. Este ciclo debe repetirse tres veces. Finalizado el tercer ciclo, los aisladores deben ser examinados para verificar la ausencia de grietas, luego de lo cual, se deben someter a un ensayo de frecuencia industrial de 1 minuto.

Las Fotos 8 y 9 muestran algunas secuencias del ensayo de ciclado térmico realizados en el IITREE.



Foto 8. Inmersión de aisladores en los baños



Foto 9. Aisladores en el baño caliente

3.3.2 Resultados

Se sometieron a este ensayo 59 muestras, compuestas por un total de 818 aisladores. Para este ensayo no se registraron fallas en ninguna de las muestras ensayadas.

3.4 Verificación de la ausencia de porosidad

3.4.1 Breve descripción

El procedimiento para la realización de este ensayo se encuentra en el punto 25 de [1].

Se ensayan los aisladores de la muestra E1. Se deben sumergir trozos de porcelana de los aisladores de la muestra en una solución alcohólica de fucsina al 1%, la cual debe mantenerse a una presión igual o mayor que 15 MPa durante un tiempo tal que el producto de la presión en MPa por el número de horas no sea inferior a 180. Finalmente se sacan los trozos, se lavan, se secan, se rompen y mediante inspección ocular se debe verificar que el colorante no penetró en el material. Las Fotos 10 y 11 muestran la cámara de presión del IITREE durante un ensayo de porosidad y las muestras luego de finalizado el mismo.



Foto 10. Cámara de presión para el ensayo de porosidad



Foto 11. Trozos de porcelana luego del ensayo de porosidad preparados para la observación

3.4.2 Resultados

Se sometieron a este ensayo 37 muestras, compuestas por un total de 278 aisladores. Del total ensayado, 5 muestras, compuestas por 35 aisladores, no aprobaron la prueba.

3.5 Verificación de la calidad del galvanizado

3.5.1 Breve descripción

El procedimiento para la realización de este ensayo se encuentra en el punto 26 de [1].

Se ensayan los aisladores de la muestra E2. Hay diversos métodos previstos en la norma para la realización del ensayo de galvanizado; básicamente se mencionan el método gravimétrico según [3] o el método microscópico según [4]. El punto 26 de [1] también indica que, por acuerdo entre fabricante y comprador se podrán utilizar otros métodos de ensayo, como la inmersión en sulfato de cobre o el método gasométrico.

Aunque en el LAT-IITREE-FI-UNLP se ha realizado el ensayo de determinación de la masa de revestimiento por el método magnético, la mayoría de las pruebas se han efectuado mediante la inmersión en sulfato de cobre según el punto 31.1 de [5], el cual permite evaluar la uniformidad de la capa de galvanizado, siendo éste método el que se utilizó para evaluar resultados en este estudio.

Las Fotos 12 y 13 muestran ensayos realizados en el IITREE mediante los métodos indicados en el párrafo anterior.



Foto 12. Ensayo de galvanizado mediante inmersión en sulfato de cobre



Foto 13. Medición del espesor del galvanizado mediante el método magnético

3.5.2 Resultados

Se sometieron a este ensayo 26 muestras, compuestas por un total de 101 aisladores. Del total ensayado, 5 muestras, compuestas por 14 aisladores, no aprobaron la prueba.

3.6 Resumen de resultados

La Tabla I muestra un resumen de los resultados discriminados por ensayo, indicándose la cantidad de muestras, el total de aisladores sometidos a ensayo en cada caso; así como la cantidad de muestras y de aisladores que no aprobaron cada prueba.

TABLA I. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Ensayo	Cantidad de muestras ensayadas	Cantidad de aisladores de la muestra	Muestras no aprobadas		Aisladores no aprobados	
			Cantidad	[%]	Cantidad	[%]
Verificación dimensional	42	614	14	33,3	198	32,2
Electromecánico de falla	62	561	11	17,7	139	24,8
Ciclo térmico	59	818	0	0,0	0	0,0
Porosidad	37	278	5	13,5	35	12,6
Galvanizado	26	101	5	19,2	14	13,9

Como ya se mencionó, no todos los aisladores que conforman los lotes no aprobados presentaron falla en forma individual, por lo que las cantidades de aisladores sólo se presentan para tener idea de la cantidad de elementos involucrados en las diferentes pruebas.

Con relación a lo anterior, se destaca nuevamente que los resultados de la evaluación de cada lote se realiza en base al comportamiento de cada muestra en los respectivos ensayos y no según las cantidades individuales de aisladores fallados. También cabe recordar que en caso de falla de una muestra es posible reanudar el ensayo del lote (contra prueba o contra ensayo) con una nueva muestra, del doble de tamaño de la muestra original.

3.7 Gráficos de distribución en el tiempo de los ensayos

Las Figuras 1 a 5 muestran la distribución en el tiempo de los ensayos realizados, detallando cantidad de muestras ensayadas y no aprobadas para cada tipo de ensayo.

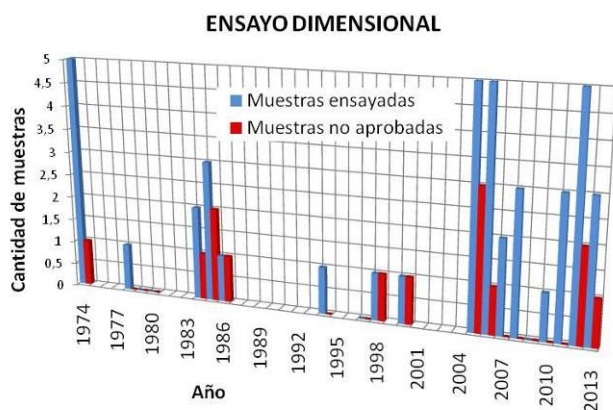


Figura 1. Ensayo de verificación dimensional

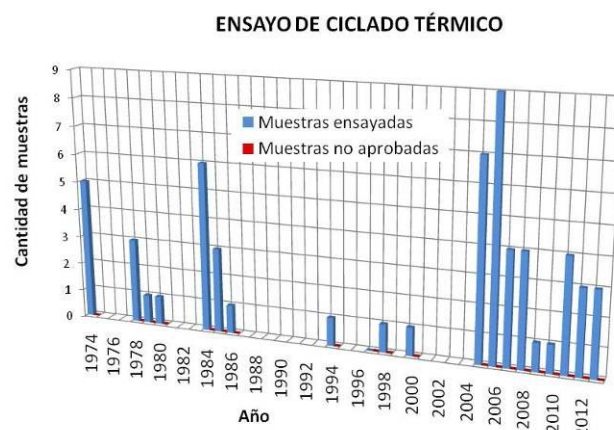


Figura 2. Ensayo de ciclado térmico

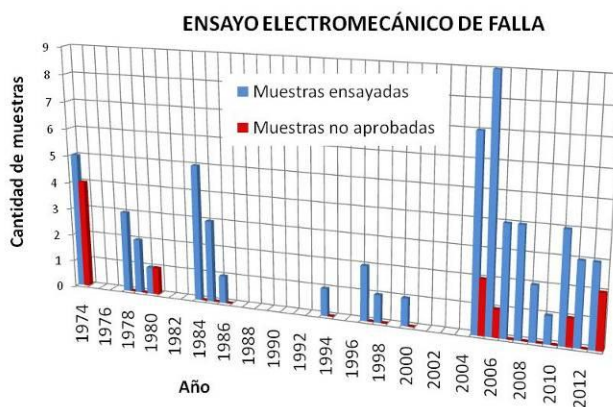


Figura 3. Ensayo electromecánico de falla

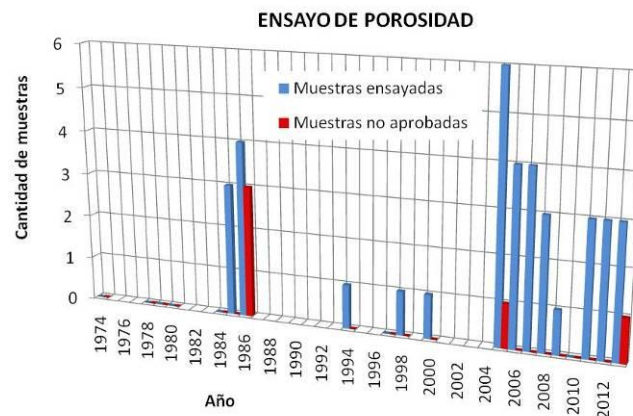


Figura 4. Ensayo de porosidad

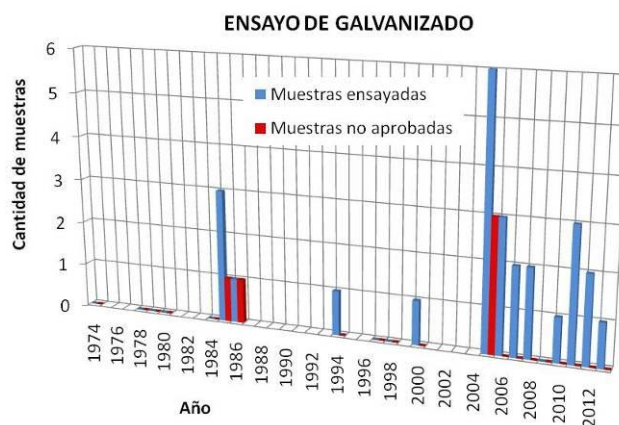


Figura 5. Ensayo de verificación de la calidad del galvanizado

4 CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos y de los gráficos presentados se puede observar que el ensayo que presenta mayor índice de no aprobación es el dimensional. A continuación, en porcentajes similares, se ubican el de galvanizado, el electromecánico y el de porosidad. También se observa que todas las pruebas de ciclado térmico registradas resultaron aprobadas.

Con relación al ensayo dimensional, se puede verificar de la Figura 1 la persistencia de altos índices de no aprobación a lo largo del tiempo y hasta la actualidad. Es una cuestión no menor la necesidad de cumplir con las dimensiones de los aisladores, en particular con las referidas a los alojamientos de rótula. En la norma [2], se puede observar que algunas tolerancias de los calibres son del orden de las milésimas de milímetro. Esto es razonable teniendo en cuenta que este tipo de elementos de cadena son susceptibles de utilizarse para realizar reemplazos durante el mantenimiento de las líneas. Estas tareas muchas veces se efectúan bajo tensión, con lo cual dicha operatoria de reemplazo debe realizarse de la manera más expeditiva posible, y ésto sólo es factible si se cumplen las condiciones de intercambiabilidad de los elementos, garantizado mediante la estricta aplicación de la norma mencionada.

Cabe mencionar que, de la observación detallada de las piezas metálicas fuera de tolerancia (pernos y caperuzas), en muchos de los casos se ha observado que las causas de dicha falla podrían deberse al poco cuidado en la terminación de las superficies, como por ejemplo rebabas mal desbastadas o excesos (chorreo) del material del galvanizado (Foto 14).



Foto 14. Detalle de un badajo con defectos de la capa de galvanizado.

El ensayo de tracción electromecánica suele ser uno de los ensayos de la serie que más interés despierta por parte de usuarios y fabricantes. En la Figura 3 se puede observar que aún en los registros más actuales se siguen obteniendo significativos índices de no aprobación. No debe olvidarse que la falla de uno de los elementos que forma la cadena, que puede ocurrir por causas tanto eléctricas como mecánicas, termina dando origen a la falla de la cadena completa. Se estima que una de las causas de la no aprobación de este ensayo es la dificultad de los fabricantes de obtener elementos cuya carga electromecánica de falla sea uniforme entre ciertos límites, tal como exige la norma [1] mediante la aplicación del criterio estadístico impuesto.

5 REFERENCIAS

- [1] Norma IEC 60383-1:1993 “Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1 kV. Part 1: Ceramic or glass insulator units for a.c. systems. Definitions, test methods and acceptance criteria”.
- [2] Norma IEC 60120:1984 “Dimensions of ball and socket couplings of string insulator units”.
- [3] Norma ISO 1460 “Metallic coatings - Hot dip galvanized coatings on ferrous materials - Gravimetric determination of the mass per unit area”.
- [4] Norma ISO 1463 “Metallic and oxide coatings - Measurement of coating thickness - Microscopical method”.
- [5] Norma IEC 60383:1976 “Test on insulators of ceramic material or glass for overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V”